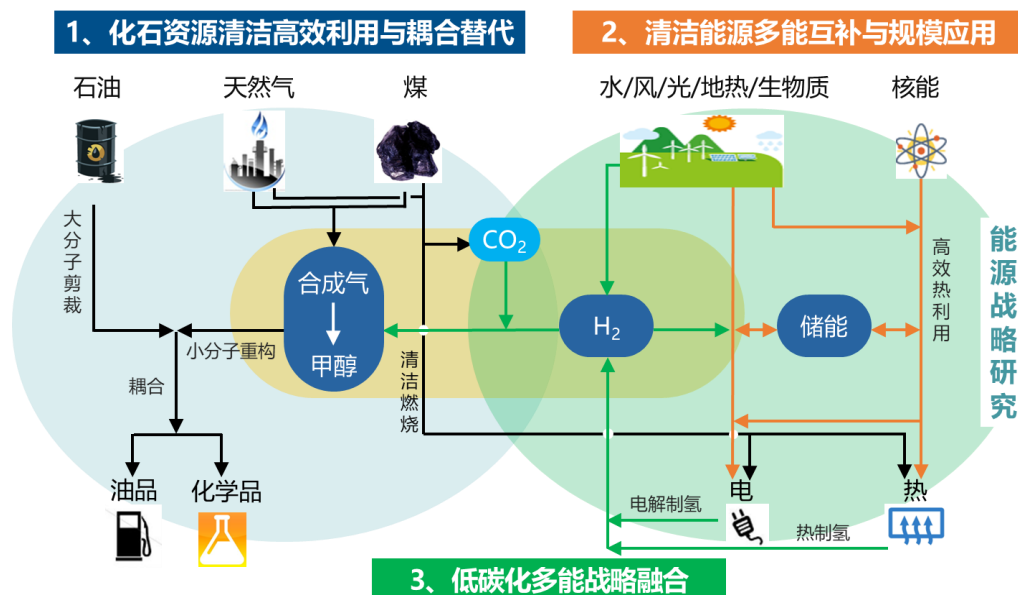




# 洁净能源科技动态监测快报

2021 年第 07 期（总第 21 期）



## 本期看点

- 欧盟启动首个兆瓦级工业废热超临界 CO<sub>2</sub> 循环发电示范项目
- 欧盟发布光伏战略研究与创新议程征求意见稿
- 美国能源部发布打造本土锂电池供应链十年发展蓝图
- 美国能源部推出氢能攻关计划加速低成本清洁氢能发展
- IEA：2021 年全球能源投资有望止住下降势头出现反弹
- 拜登政府公布 2022 财年能源部 462 亿美元预算纲要

# 目 录

2021 年第 07 期 (总第 21 期)

## ◆ 化石资源清洁高效利用

- 欧盟启动首个兆瓦级工业废热超临界 CO<sub>2</sub> 循环发电示范项目 ..... 2
- 美能源部投入 1200 万美元支持直接空气碳捕集技术研发 ..... 2
- 美能源部资助 500 万美元提高发电厂技术灵活性和可靠性 ..... 3
- 英国炼油厂获政府补贴利用氢能低碳转型 ..... 4

## ◆ 清洁能源多能互补

- 欧盟发布光伏战略研究与创新议程征求意见稿 ..... 5
- 英国 MAST-U 聚变装置成功验证全球首创排气系统概念 ..... 12
- 美能源部资助 6100 万美元支持先进核能技术研发 ..... 13
- 无氧化处理的高效 CO<sub>2</sub> 改性有机空穴材料简化制备工艺 ..... 13

## ◆ 低碳化多能融合

- 美能源部发布打造本土锂电池供应链十年发展蓝图 ..... 15
- 美能源部推出氢能攻关计划加速低成本清洁氢能发展 ..... 17
- 美能源部支持研发废弃物清洁制氢技术 ..... 18
- 全球领先氨气企业和日本最大发电公司签署绿色氨战略协议 ..... 19
- 基于质子穿梭策略实现全球首次零排放氨合成 ..... 19

## ◆ 能源战略研究

- IEA: 2021 年全球能源投资有望止住下降势头出现反弹 ..... 21
- 拜登政府公布 2022 财年能源部 462 亿美元预算纲要 ..... 26

## 本期概要

**欧盟资助的“超临界 CO<sub>2</sub> 循环运行环境示范以评估工业废热利用”项目 (CO<sub>2</sub>OLHEAT) 正式启动:** 该项目是欧盟首个兆瓦级废热超临界 CO<sub>2</sub> 循环发电示范项目, 由欧盟“地平线 2020”框架计划资助, 总预算约 1880 万欧元 (其中欧盟资助 1400 万欧元), 项目执行期 4 年, 将在真实工业环境中示范通过超临界 CO<sub>2</sub> 循环利用工业废热发电, 以支持工业脱碳。该技术采用了以超临界 CO<sub>2</sub> 为工作流体的 2 兆瓦级回热闭式布雷顿循环, 能够在 400℃ 下有效利用工业废热, 具备灵活 (紧凑的尺寸和更好适应负荷变化的能力)、高效等优点。

**欧洲光伏技术与创新平台 (ETIPPV) 发布《光伏战略研究与创新议程》征求意见稿, 指出欧洲光伏技术已具有经济和环境竞争力, 但必须克服技术创新、装备制造、系统集成和材料循环利用过程中的障碍:** 议程提出了关键技术到 2030 年的绩效指标, 并基于技术成熟度等级设定了技术路线图。该议程对于重点领域的划分不是基于技术类型, 而是从提升光伏技术竞争力以推进完全市场化角度考虑, 确定相应的关键技术, 并基于技术的成熟度进行研发规划。

**美国能源部 (DOE) 发布《国家锂电池蓝图 2021-2030》报告, 作为美国第一份由政府主导制定的锂电池发展战略, 提出了未来十年打造美国本土锂电池供应链的五大主要目标和关键行动:** (1) 确保电池原材料供应安全, 寻找关键矿物原料替代品, 降低美国锂电池对关键矿物的依赖; (2) 建设能够满足美国国内锂电池原材料加工能力的生产基地; (3) 促进美国国内正负极材料等前驱体、电芯、电池组的生产能力; (4) 在美国建立废旧电池回收和材料循环利用机制, 并形成具有竞争力的锂电池价值链; (5) 保持和推进美国在电池技术研发方面的国际领先优势。

**美国能源部 (DOE) 启动“氢能攻关”计划 (Hydrogen Energy Earthshot), 目标是在未来十年使清洁氢成本降低 80% 至 1 美元/千克:** 同时发布了一份氢能信息请求文件, 以征集可行的氢能示范和部署项目, 帮助 DOE 氢能计划进一步确定其研发范围和优先事项。

**国际能源署 (IEA) 发布《2021 全球能源投资报告》指出, 随着经济从新冠疫情中逐步复苏, 全球能源需求预计显著回升, 从而带动相关投资增长:** 预计 2021 年全球能源投资有望反弹近 10%, 投资总额将回归新冠疫情前水平。投资的主要构成已转向电力和终端用能部门, 而不是传统的燃料生产。

**美国总统拜登公布了 2022 财年美国能源部 (DOE) 462 亿美元预算纲要, 较 2021 年预算上调了 23%:** 包括投资 80 亿美元用于应用能源技术项目的创新研发, 投资 74 亿美元用于推进尖端领域基础科学研究和大型科技基础设施建设, 以及投资 11 亿美元建立先进气候研究计划署 (ARPA-C)。旨在通过推进清洁能源创新, 解决能源、环境和核安全挑战, 保障国家能源安全和经济持续增长, 有助于美国建立清洁能源经济, 确保在 2050 年达到净零排放。

**澳大利亚莫纳什大学科学家 Douglas R. MacFarlane 团队提出一种新型氨合成方法, 引入四烷基磷盐作为质子源, 基于质子穿梭策略, 实现了零碳排放氮还原为氨反应:** 该方法证明了利用可再生能源生产氨以及肥料的潜力, 为未来 NRR 发展开辟了广泛的可能性, 有望加快绿色氨生产步伐, 催生新的绿氨经济。

# 化石资源清洁高效利用

## 欧盟启动首个兆瓦级工业废热超临界 CO<sub>2</sub> 循环发电示范项目

6月1日，欧盟资助的“超临界 CO<sub>2</sub> 循环运行环境示范以评估工业废热利用”项目（CO2OLHEAT）正式启动<sup>1</sup>。该项目由欧盟“地平线 2020”框架计划资助，总预算约 1880 万欧元（其中欧盟资助 1400 万欧元），项目执行期 4 年，将在真实工业环境中示范通过超临界 CO<sub>2</sub> 循环利用工业废热发电，以支持工业脱碳。

CO2OLHEAT 项目将在位于捷克共和国普拉霍维采（Prachovice）的 CEMEX 水泥生产厂示范 2 兆瓦废热发电成套设备（技术成熟度达到 7 级），并针对 6 个不同行业工厂的虚拟环境进行余热利用潜力评估，包括玻璃生产（土耳其）、铝生产（希腊）、钢铁生产（西班牙）、垃圾焚烧（比利时）、天然气发电（法国）和太阳能发电（西班牙）。该技术采用了以超临界 CO<sub>2</sub> 为工作流体的 2 兆瓦级回热闭式布雷顿循环，能够在 400℃ 下有效利用工业废热，具备灵活（紧凑的尺寸和更好适应负荷变化的能力）、高效等优点。这是欧盟首个兆瓦级废热超临界 CO<sub>2</sub> 循环发电示范项目，有望实现更低成本、更灵活的工业废热利用。该项目将从技术、经济和环境的角度分析工业废热超临界 CO<sub>2</sub> 循环发电的潜力，为循环设计、涡轮机械设计开发创新模型，通过技术经济和生命周期可行性研究探索该技术在水泥、玻璃、铝、发电行业的循环效益。CO2OLHEAT 项目被欧盟视为推向市场的典型示范项目，具备可复制性，将为更有效的工业废热利用奠定基础。（岳芳）

## 美能源部投入 1200 万美元支持直接空气碳捕集技术研发

6月15日，美国能源部（DOE）宣布投入 1200 万美元支持 6 个直接空气碳捕集（DAC）研发项目<sup>2</sup>，以增强碳捕集效率并降低能耗和成本，助力实现净零排放目标。本次资助项目重点集中于技术研发，提高设计和运行效率，详情如下：

### 1、增加 DAC 的碳捕集体量

资助金额 150 万美元，由美国康宁公司承担，将开发一种 DAC 接触器，可最大限度从空气中捕集二氧化碳（CO<sub>2</sub>），同时减少运行能耗。

### 2、由低成本风电运行的 DAC 系统早期测试

资助金额 150 万美元，由美国三角研究院承担，将设计、制造和测试由低成本

<sup>1</sup> Press release: EU-funded CO2OLHEAT launched. <https://etn.global/publication/press-release-eu-funded-co2olheat-launched/>

<sup>2</sup> DOE Announces \$12 Million For Direct Air Capture Technology. <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-12-million-direct-air-capture-technology>



风能驱动 DAC 接触器，从而提高 DAC 技术的运行效率。

### 3、开发新型 DAC 技术的高容量再生材料

资助金额 150 万美元，由 Susteon 公司承担，将开发一种具备高 CO<sub>2</sub> 容量且具备再生功能的结构材料，以降低 DAC 系统运行能耗，达到降低成本的目的。

剩余三个项目将探索在美国不同地区部署 DAC 技术，旨在建立美国首个年捕集能力达 10 万吨的 DAC 系统。具体包括：

### 4、DAC 技术的早期工程设计

资助金额 250 万美元，由博莱克威奇（Black & Veatch）公司承担，将进行 DAC 系统的早期工程设计，该系统将安置在德克萨斯州的敖德萨、阿拉巴马州的巴克斯和伊利诺伊州的鹅溪，目标是实现每年从大气中捕获 10 万吨 CO<sub>2</sub>。

### 5、三个商业规模 DAC 系统的初始设计

资助金额 250 万美元，由 Silicon Kingdom 公司承担，进行三个商业规模被动 DAC 系统的初始设计。该设计由亚利桑那州立大学开发，每天捕集 1000 吨 CO<sub>2</sub>。

### 6、利用低碳能源为商业规模 DAC 系统提供电力

资助金额 250 万美元，由伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校承担，将进行大规模 DAC 的初始设计，并与合作伙伴合作完善设计，将 CO<sub>2</sub> 永久封存于怀俄明州、路易斯安那州和加利福尼亚州的地下设施中。除了审查不同气候条件的影响外，该项目还将衡量使用不同低碳能源（如地热、太阳能、风能或废热）对减少 DAC 技术生命周期排放的影响。

（岳芳）

## 美能源部资助 500 万美元提高发电厂技术灵活性和可靠性

6 月 4 日，美国能源部（DOE）宣布向西弗吉尼亚大学研究中心提供 500 万美元资助<sup>3</sup>，用于研发先进组件，以提高传统化石燃料发电的灵活性和可靠性。该项目将支撑 DOE 的高性能材料项目，专注于改进低碳火力发电，以增强国家先进材料供应链。具体内容如下：

由西弗吉尼亚大学研究中心研发先进超超临界电厂不同金属焊接件梯度复合材料转换组件的加工制造方法。该组件是一种利用特殊添加剂制造的梯度复合材料转换接头（AM-GCTJ），旨在将不同的金属组件连接到火电厂部件中，使火电厂在日常运行中，能够有力承受极寒或高温条件下发电装置的快速启动和关闭。开发经济高效且易于扩展的 AM-GCTJ 转换接头，将消除传统不同金属焊接缝隙出现的各种问题，有效防止发电装置相关组件过早失灵。该项目 DOE 资助约 500 万美元，产业合作伙伴出资约 125 万美元，总计投入约 625 万美元。

（汤匀）

<sup>3</sup> DOE Announces \$5 Million to Improve Flexibility and Reliability of Advanced Power Plant Technology.  
<https://www.energy.gov/fe/articles/doe-announces-5-million-improve-flexibility-and-reliability-advanced-power-plant>

## 英国炼油厂获政府补贴利用氢能低碳转型

5月26日，英国两家炼油厂获得了英国政府770万英镑的资助，用于利用氢能转向低碳生产<sup>4</sup>。其中，爱萨石油英国公司（Essar Oil UK）将获得720万英镑资金，用于建设英国第一座完全使用氢气作为燃料的炼油炉，该笔资金占总建设成本近1/3，该公司在英格兰西北部经营着产量为20.4万桶/日的斯坦洛炼油厂。这台炼油炉将安装在斯坦洛炼油厂唯一的原油蒸馏装置中，计划于今年开工建设，2023年9月完工。炼油炉将使用斯坦洛的HyNet North West项目生产的氢气作为燃料，项目预计将在2025年投产。如果炼油炉仅使用氢燃料运行，将使炼油厂的二氧化碳排放总量每年减少11%。

除Essar Oil UK以外，美国菲利普66公司（Phillips 66）将获得50万英镑的政府拨款，用于支持研究使用氢气作为英格兰东北海岸的基林霍尔姆炼油厂（产量23万桶/日）燃气加热器的燃料。Phillips 66公司表示，计划在基林霍尔姆加工食用油废油以生产可再生燃料。

（岳芳）

---

<sup>4</sup> UK Government Funds Hydrogen Power at Refineries. <https://www.world-energy.org/article/17932.html>

# 清洁能源多能互补

## 欧盟发布光伏战略研究与创新议程征求意见稿

5月27日，欧洲光伏技术与创新平台（ETIP PV）发布《光伏战略研究与创新议程》向公众征求意见<sup>5</sup>，指出欧洲光伏技术已具有经济和环境竞争力，但必须克服技术创新、装备制造、系统集成和材料循环利用过程中的一些障碍。该议程分析了光伏技术研究和创新面临的5方面挑战，提出了关键技术到2030年的绩效指标，并基于技术成熟度等级设定了技术路线图。该议程对于重点领域的划分不是基于技术类型，而是从提升光伏技术竞争力以推进完全市场化角度考虑，确定相应的关键技术，并基于技术的成熟度进行研发规划。具体绩效指标及优先事项如下：

### 一、提高性能和降低成本

#### 1、硅基光伏模块

**（1）技术指标（到2030年）。①欧洲具备100吉瓦（GWp）硅基电池单体和模块的低碳制造能力。②公用事业规模光伏的平准化发电成本（LCOE）达到0.025欧元/千瓦时，集成光伏系统的LCOE低于0.05欧元/千瓦时。③欧洲成为高性能可持续硅基光伏技术的世界领先者，光伏模块转换效率达到25%，寿命达到50年，南欧地区的能源投资回报率（EROI）大于50。**

**（2）研发重点。①技术成熟度（TRL）2-3级技术早期研发：2021-2026年，研发纳米光子结构使电池单体更薄；2022-2030年，通过上下转换太阳电池、直接带隙薄膜等先进技术提高效率。②TRL 3-5级技术开发：2021-2023年，开发用于G12及更大尺寸硅片的拉晶技术；2021-2025年，推进模块开发。③TRL 5-7级技术示范：2021-2026年，外延晶片/替代品的工艺及设备；2021-2030年，更高性能可持续模块技术（无铅、无氟、寿命更长等）。④TRL 7-8级技术旗舰项目：2022-2027年，部署先进同质结、异质结电池/模块的试点项目；2025-2030年，部署先进拉晶和外延晶片技术的试点项目。**

#### 2、钙钛矿基光伏模块

**（1）技术指标（到2030年）。①钙钛矿光伏的LCOE不高于晶硅（c-Si）光伏。②钙钛矿光伏的碳足迹低于晶硅光伏碳足迹的80%，且其模块必须完全可回收。③商业钙钛矿光伏模块效率高于23%。**

**（2）研发重点。①TRL 2-3级技术早期研发：2021-2025年，研发无铅薄膜光伏吸收层；2021-2026年，研发低成本高性能透明电极；2026-2030年，研发钙钛矿**

<sup>5</sup> ETIP PV has published “The European Strategic Research and Innovation Agenda for Photovoltaics” for Public Consultation. <https://etip-pv.eu/news/other-news/etip-pv-has-published-the-european-strategic-research-and-innovation-agenda-for-photovoltaics-for-public-consultation/>

光伏回收策略。②**TRL 3-5 级技术开发**：2021-2026 年，开发模块制造技术。③**TRL 5-7 级技术示范**：2021-2023 年，进行将钙钛矿光伏模块应用于玻璃和箔片的多种用途中试规模示范。④**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2023-2029 年，在欧洲建立将钙钛矿光伏模块应用于玻璃和箔片的试产线。

### 3、薄膜（非钙钛矿）光伏模块

(1) **技术指标（到 2030 年）**。①薄膜光伏技术的 LCOE 不高于晶硅光伏。②与 2020 年标准相比，薄膜光伏每瓦的银或碲含量减少至 1/3，效率增加 20%。③欧洲薄膜光伏的全球市场份额达到 10%。

(2) **研发重点**。①**TRL2-3 级技术早期研发**：2021-2030 年，筛选用于单结和多结光伏的新型薄膜吸收层材料。②**TRL 3-5 级技术开发**：2021-2026 年，开发用于特定集成应用的薄膜光伏；2023-2028 年，通过模块设计改进可持续性。③**TRL5-7 级技术示范**：2021-2028 年，大面积模块的生产，降低“从实验室到工厂”（lab-to-fab）的损失；2023-2030 年，用于集成光伏系统的大规模定制生产流程。④**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2021-2026 年，更大尺寸模块的下一代生产设备；2025-2030 年，建立大批量定制产品的试产线。

### 4、串联光伏模块

(1) **技术指标（到 2030 年）**。①串联光伏的效率至少比相应的单结技术高 5 个百分点。②串联光伏的寿命与单结技术相当。③增加结的生产成本低于 8 欧元/平米。

(2) **研发重点**。①**TRL 3-5 级技术开发**：2021-2024 年，开发稳定的高质量复合层和电荷选择层；2022-2026 年，改进三结（3T）和 4 结（4T）串联模块概念。②**TRL 5-7 级技术示范**：2021-2026 年，开发模块级的高产量生产工艺；2022-2028 年，开发双面多结器件。③**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2023-2030 年，在欧洲建立不同串联技术及应用的试产线。

### 5、辅助系统（BoS）及提高能量输出

(1) **技术指标（到 2030 年）**。①BoS 组件需确保完整光伏系统的运行寿命达到 50 年。②BoS 组件将确保光伏具备竞争力，即光伏系统 LCOE 达到 0.025 欧元/千瓦时，集成光伏系统的 LCOE 达到 0.05 欧元/千瓦时。

(2) **研发重点**。①**TRL 2-3 级技术早期研发**：2022-2029 年，研发具有更高功率密度和可靠性的宽带隙逆变器。②**TRL 3-5 级技术开发**：2022-2027 年，将传感器集成到光伏模块中；2024-2030 年，开发新型安装固定结构，其材料更少，灵活性更高。③**TRL 5-7 级技术示范**：2021-2024 年，示范具有优化电网管理功能的逆变器；2026-2030 年，组件老化和能量输出的联合分析。

### 6、光伏制造数字化

(1) **技术指标（到 2030 年）**。评估和连接从组件生产到光伏电站建设运营的数



据，使用基于人工智能（AI）的数据分析实现工厂自学习和自优化。

**（2）研发重点。**①**TRL 2-3 级技术早期研发：**2021-2027 年，研发基于 AI 的自学习数据分析软件；2022-2029 年，研发制造工艺和产品的多尺度模型。②**TRL 3-5 级技术开发：**2022-2029 年，开发用于设备和生产数据的智能传感器。③**TRL 5-7 级技术示范：**2021-2025 年，AI 支持的预测性维护概念；2026-2030 年，数字化方法的产业化。

## 7、光伏系统数字化

**（1）技术指标（到 2030 年）。**开发新型数字光伏系统，将光伏与光子学、微电子和电力电子学、传感器、储能、无线通信和计算机科学结合。

**（2）研发重点。**①**TRL 2-3 级技术早期研发：**2021-2025 年，进行真实条件下的性能建模；2022-2029 年，研发光伏系统的无线通信和传输。②**TRL 3-5 级技术开发：**2022-2030 年，通过 AI 和大数据分析改进能量输出、预测及预测性维护。③**TRL 5-7 级技术示范：**2021-2025 年，建立光伏系统和电站的综合数据集；2025-2030 年，自动化和预测性光伏资产管理。④**TRL 7-8 级技术旗舰项目：**2026-2030 年，光伏系统和电站的数字孪生。

## 二、提高寿命、可靠性和可持续性

### 1、低环境影响材料、产品和工艺

**（1）技术指标（到 2030 年）。**①生产冶金级硅（MGS）所需能量低于 20 千瓦时/千克（目前为 32 千瓦时/千克）。②串联光伏系统的碳足迹低于 40 克 CO<sub>2</sub> 当量/千瓦时，薄膜单结光伏系统低于 20 克 CO<sub>2</sub> 当量/千瓦时。③增加从欧洲生产商购买光伏材料。

**（2）研发重点。**①**TRL 2-3 级技术早期研发：**2021-2025 年，光伏碳足迹评价；2022-2029 年，量化材料高价值回收的收益。②**TRL 3-5 级技术开发：**2022-2029 年，开发低/零有害物质的高品质/可靠性晶硅模块。③**TRL 5-7 级技术示范：**2021-2025 年，铜基连接系统；2026-2030 年，在模块组装中使用可回收聚合物。④**TRL 7-8 级技术旗舰项目：**2024-2030 年，建立欧洲原材料弹性供应链。

### 2、设计、系统及运行维护以用于再利用

**（1）技术指标（到 2030 年）。**①对于运行寿命低于 15 年的光伏系统，确保报废时在相关回收处理部门实施明确的分类协议，并确保维修/重复利用量增加 60%。②重复利用的模块至少运行 10 年，到 2030 年累积寿命达到 40 年以上水平。

**（2）研发重点。**①**TRL 2-3 级技术早期研发：**2021-2025 年，光伏系统的可逆材料和“材料护照”<sup>6</sup>；2022-2029 年，再利用和回收的系统/模块拆解技术。②**TRL 3-5 级技术开发：**2022-2029 年，新一代光伏面板和背板材料及可重复使用的涂层。

<sup>6</sup> 材料护照（material passport），记录了材料的生产、组成、使用等信息，为材料报废和再利用提供相关信息，用于材料的循环经济。

③**TRL 5-7 级技术示范**：2021-2025 年，光伏模块维修技术；2025-2028 年，弹性和自修复互连技术；2026-2030 年，非破坏性光伏健康表征技术。④**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2024-2030 年，下一代可重复使用面板和背板材料的质量和可靠性验证。

### 3、回收技术

(1) **技术指标（到 2030 年）**。①从切割硅锭的废料中回收 40%的纯硅。②从光伏组件废料中回收 90%以上的乙烯-醋酸乙烯共聚物（EVA）、聚氟乙烯（PVF）、聚偏氟乙烯（PVDF）和聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）。③报废回收率（EOL-RR）达到硅 90%、镉 30%、银 70%。

(2) **研发重点**。①**TRL 2-3 级技术早期研发**：2021-2025 年，研究光伏材料的环境、社会和治理影响；2022-2029 年，开发车辆/建筑集成光伏的回收工艺。②**TRL 3-5 级技术开发**：2022-2029 年，开发特定材料高价值回收工艺。③**TRL 5-7 级技术示范**：2021-2024 年，聚合物材料回收工艺；2025-2030 年，报废光伏中硅的高价值回收。④**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2024-2030 年，从工业及用户报废光伏中回收玻璃用于新光伏产品。

### 4、生态标签和能源标签

(1) **技术指标**。每年更新生命周期清单（LCI）数据库。

(2) **研发重点**。①**TRL 5-7 级技术示范**：2022-2026 年，通过生态设计加强光伏逆变器的可修复性；可持续性的整体评估。②**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2022-2030 年，进一步升级动态数据库，大规模实施生态标签。

### 5、质量保证以提高使用寿命和可靠性

(1) **技术指标（到 2030 年）**。①提高新技术（例如双面光伏）和新系统设计（例如浮动式光伏）的优良率评估准确性，不确定性小于 5%（典型值为 5%-10%）。②经扩展测试验证的光伏组件使用寿命达到 40 年。③在欧洲建立组合或顺序压力测试的测试能力。

(2) **研发重点**。①**TRL 3-5 级技术开发**：2022-2028 年，开发预测光伏组件及系统的数据驱动和/或物理模型；2022-2026 年，开发确定长期退化的方法；2022-2024 年，开发创新方法降低干热气候下的模块环境温度，以增加能量输出。②**TRL 5-7 级技术示范**：2021-2030 年，示范涵盖新技术和系统设计的更准确优良率评估方法；2024-2027 年，开发与天气或环境条件相关的材料和组件选择数据/设计工具。③**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2022-2026 年，建立组合或顺序压力测试设施；2025-2030 年，确立光伏模块取证方法；2026-2030 年，通过虚拟原型工具预测热-机械失效可能性。

### 6、提高现场性能和可靠性

(1) **技术指标**。①到 2030 年，确保在 40 年内经过验证的系统能量输出至少维持在初始水平的 80%。②成本降低 15%，到 2025 年光伏性能数据库中 50 吉瓦机组

平均运行时间至少达到 3 年，到 2030 年 100 吉瓦机组运行时间至少达到 7 年。

(2) 研发重点。①**TRL 3-5 级技术开发**：2021-2030 年，开发预测性维护算法；开发嵌入式传感器，使用现场自主无人机。②**TRL 5-7 级技术示范**：2022-2028 年，工程总包和运行维护友好型光伏组件及系统设计，开发复合或集成监控诊断图像解决方案；2022-2026 年，运维优化指标的大规模有效使用，开发完全诊断方法。③**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2024-2030 年，开发数据驱动和或物理模型/可靠性模型，建立光伏电站性能的大规模数据库。

### 7、可融资性、保证和合同条款

(1) 技术指标（到 2030 年）。①与基准水平相比，公用事业规模光伏的典型加权资本成本降低 1%。②确定具有相关风险的模块、逆变器和支撑结构的保修级别。

(2) 研发重点。①**TRL 3-5 级技术开发**：2021-2025 年，基于统计分析得出产品保证。②**TRL 5-7 级技术示范**：2021-2025 年，新的运行维护策略；2025-2030 年，通过工程总承包合同提供具有不同成本的多种保修选项。③**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2021-2025 年，开发去风险平台；2023-2030 年，开发渐进式重新授权方案。

## 三、多样化的应用和集成

### 1、建筑光伏

(1) 技术指标（到 2030 年）。①建筑能源覆盖：需求覆盖率>50%，能源自给率>30%，电力自消费>80%。②建筑光伏成本比 2020 年水平降低 50%以上。③产品运行寿命超过 35 年。④与 2020 年水平相比，产品可回收性提高 50%，并符合建筑行业标准。

(2) 研发重点。①**TRL 2-3 级技术早期研发**：2021-2026 年，研发超长寿命产品及组件，形成可定制的工业产品，成为建筑行业价值链的一部分。②**TRL 3-5 级技术开发**：2021-2027 年，开发具有不同尺寸、抗脱落、美观的光伏模块互连技术。③**TRL 5-7 级技术示范**：2022-2028 年，用于智能光伏及双面光伏的透明和不透明围护部件。④**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2024-2030 年，建立可批量生产定制建筑光伏的生产线。

### 2、车辆集成光伏

(1) 技术指标（到 2030 年）。①开发不同的电池、互连以及封装技术和材料。②车辆能源覆盖：平均续航里程增加 40%，充电次数减少 50%。③支持欧洲光伏价值链深度融入汽车行业。④根据欧盟道路和车辆要求以及安全/维修/维护标准，在安全性、电磁兼容性、可回收性等方面调整光伏性能。⑤产品外观和美学符合汽车行业标准。

(2) 研发重点。①**TRL 2-3 级技术早期研发**：2021-2026 年，超快最大功率点追踪技术和耐部分遮挡性能。②**TRL 3-5 级技术开发**：2022-2027 年，产品适合车辆

安全和回收标准，开发与寿命、外观和维修相关的互连和封装。③**TRL 5-7 级技术示范**：2023-2028 年，车辆集成光伏的试生产线。④**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2025-2030 年，示范集成光伏产品的汽车生产线。

### 3、农业光伏和景观集成

(1) **技术指标（到 2030 年）**。通过生命周期分析，到 2025 年确定最具协同作用的电厂-光伏技术-农业布局，到 2027 年进一步评估，到 2030 年在公用事业规模发电厂部署，具体将实现：①**正协同平衡**，即能源和作物的综合产出超过任何单一产出；②**通过区域内不同作物-能源的组合优化使产品多样化**；③**通过光伏电池板优化收集来改善用水**。

(2) **研发重点**。①**TRL 2-3 级技术早期研发**：2021-2026 年，光伏生产适应优化作物的透明条件。②**TRL 3-5 级技术开发**：2022-2027 年，开发适合景观集成以及公众接受的光伏产品。③**TRL 5-7 级技术示范**：2023-2028 年，中试规模农业-光伏电站的区域多样化示范。④**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2025-2030 年，优化作物-能源的实际规模示范。

### 4、浮动式光伏

(1) **技术指标（到 2030 年）**。①与 2020 年相比，将浮动式光伏成本降低 50% 以上。②**发挥浮动式光伏的固有优势**，如冷却、跟踪等。③**增加浮动式光伏的使用寿命**，使其接近或与陆上光伏相当（大于 35 年）。④与 2020 年相比，可回收性提高 50% 以上。

(2) **研发重点**。①**TRL 2-3 级技术早期研发**：2021-2026 年，改进模块及 BoS 组件的寿命。②**TRL 3-5 级技术开发**：2022-2027 年，开发浮动式光伏的能量输出性能预测技术，示范浮动式光伏的中性或正生态影响。③**TRL 5-7 级技术示范**：2023-2028 年，中等波浪高度浮动式光伏试点电站的示范，浮动式光伏结合风能或氢能的试点示范。④**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2025-2030 年，海上浮动式光伏示范。

### 5、基础设施集成光伏

(1) **技术指标（到 2030 年）**。与 2020 年相比：①**将基础设施集成光伏成本降低 50% 以上**，同时维持基础设施的主要功能；②**将基础设施集成光伏运行寿命提高 80% 以上**；③**可回收性提高 50% 以上**。

(2) **研发重点**。①**TRL 2-3 级技术早期研发**：2021-2026 年，开发特定应用的包装/封装/连接器，改进在交通繁忙路段集成光伏的耐磨性。②**TRL 3-5 级技术开发**：2022-2027 年，测试防撞栏集成光伏的安装。③**TRL 5-7 级技术示范**：2022-2028 年，示范隔音屏集成光伏。

### 6、低功率能量收集光伏

(1) **技术指标（到 2030 年）**。①在 200-500 勒克斯白光照明范围内，将光伏模



块的低光照光转换效率提高 25%；②与 2020 年水平相比，成本降低 50%以上；③运行寿命延长 5 年以上；④与 2020 年水平相比，可回收性提高 50%以上，并符合室内或消费品标准。

(2) 研发重点。①**TRL 2-3 级技术早期研发**：2021-2026 年，开发高效的低光照光伏，采用替代材料基板（如塑料、纸张）。②**TRL 3-5 级技术开发**：2022-2028 年，将光伏与储能元件集成。③**TRL 5-7 级技术示范**：2024-2028 年，集成完全能量自主设备。④**TRL 7-8 级技术旗舰项目**：2025-2030 年，将能量自主设备用于信息和通信领域。

#### 四、智慧能源系统集成

##### 1、分布式智能控制

(1) 技术指标（到 2030 年）。①开发支持储能的光伏准确预测工具；②通过智能逆变器支持系统频率控制；③智能逆变器的并网能力。

(2) 研发重点。①**TRL 5-8 级技术开发、示范及旗舰项目**：2021-2026 年，智能逆变器并网能力的开发及示范。②**TRL 6-8 级技术示范及旗舰项目**：2021-2025 年，精确预测工具；2022-2025 年，智能逆变器支持系统频率的示范。

##### 2、光伏集成到直流网以提高效率

(1) 技术指标（到 2030 年）。①直流供电系统直接用于供应热、冷和热水；②建筑物混合交/直流系统标准化；③通过混合交/直流能源社区系统实现效率提高 30%。

(2) 研发重点。①**TRL 6-8 级技术示范及旗舰项目**：2021-2025 年，建筑物混合交/直流系统标准化，通过混合交/直流能源社区系统实现效率提高 30%。

##### 3、复合系统（包括需求灵活性）

(1) 技术指标（到 2030 年）。①开发复合可再生能源解决方案以发挥低成本光伏的益处；②开发复合可再生能源解决方案以利用储能系统的附加优势；③开发复合可再生能源解决方案以发挥负荷灵活性益处。

(2) 研发重点。①**TRL 6-8 级技术示范及旗舰项目**：2021-2025 年，将光伏与其他发电结合以发挥低成本光伏的益处；2022-2027 年，开发包含储能的复合可再生能源系统；2022-2030 年，开发灵活性负荷的复合可再生能源系统。

##### 4、聚合能源和虚拟电厂

(1) 技术指标（到 2030 年）。①为系统提供聚合服务的工具组合；②能源社区标准化运行模式；③集成电网分级控制的标准化。

(2) 研发重点。①**TRL 6-8 级技术示范及旗舰项目**：2021-2025 年，开发为系统提供聚合服务的工具组合；2022-2027 年，开发能源社区的标准化运行模式；2022-2030 年，实现集成电网分级控制的标准化。

##### 5、可再生能源智能电网通信和运行的互操作性



(1) 技术指标 (到 2030 年)。①基于逆变器的互操作控制系统；②系统通信协议连通性；③完全互操作的先进 (远程可控) 逆变器服务。

(2) 研发重点。①TRL 6-8 级技术示范及旗舰项目：2021-2025 年，开发基于逆变器的互操作控制系统；2022-2027 年，开发系统通信协议连通性技术；2022-2030 年，开发先进的逆变器服务。

## 五、转型的社会经济效益

### 1、太阳能光伏部署的广泛社会参与

(1) 主要目标。①可再生能源/光伏合作社；②可再生能源/光伏能源社区。

(2) 重点举措。①利益相关者：2021-2030 年，简化监管；2023-2030 年，为个人或集体的光伏部署提供机会。②研究：2021-2030 年，增强实施吸引力的因素研究；2022-2030 年，简化实施的流程。

### 2、促进在城市的部署

重点举措。①城市、区域、能源社区：2021-2030 年，设计监管和行政环境的举措。②居民和供应者：2022-2029 年，科学界和市政利益相关者之间的协作；2023-2030 年，融资和众筹解决方案的可行性。③国家监管机构：2023-2030 年，确保光伏行业和建筑业光伏的发展空间。

(岳芳)

## 英国 MAST-U 聚变装置成功验证全球首创排气系统概念

5 月 26 日，英国原子能管理局 (UKAEA) 宣布其升级版兆安培球形托卡马克 (MAST-U) 装置的初步实验结果，成功测试了一种能够承受核聚变高温的排气系统概念<sup>7</sup>，为实现聚变能发电消除了一个重要障碍。

英国将其 MAST 装置升级为 MAST-U 装置，用于测试其核聚变发电站原型反应堆系统，包括解决紧凑型聚变发电站的排气问题。MAST-U 装置于 2020 年 10 月启动运行，经历 7 个月的测试就取得了初步成功。本次实验中测试的 Super-X 偏滤器为全球首创，可将高温等离子体废气从聚变设施中排出，使托卡马克装置反应堆内壁的废热负荷降至原来的 1/10，从而延长材料使用时间，大幅提升其可用性的同时降低聚变能发电的成本。通过 Super-X 偏滤器系统可实现在聚变能发电站运行寿命内，相关材料仅更换一次。英国政府计划在 2040 年代早期将紧凑型核聚变发电站并入电网。

(岳芳)

<sup>7</sup> First experiment results point to fusion energy solution. <https://www.ukri.org/news/first-experiment-results-point-to-fusion-energy-solution/>

## 美能源部资助 6100 万美元支持先进核能技术研发

6月22日，美国能源部（DOE）宣布资助6100万美元支持在全美新遴选的核能研究项目<sup>8</sup>，旨在整合高校、企业和国家实验室的研究力量联合开发先进的核能技术，以推进美国电力和能源系统的清洁低碳转型，助力拜登政府2035年的100%清洁电力目标和2050净零排放愿景。本次资助的研究项目主要涵盖两大主题领域，主要内容如下：

### 1、改造升级美国核能反应堆设施提高核废料存储的安全性

资助由大学领导的研究团队开发更加先进安全的核废料处理技术，包括隔离、固定和储存核废料的新方法；选取全美25所大学中的部分核能研究反应堆进行性能和组件的改造升级，以支撑后续更加高性能、更复杂维度的核能实验研究。

### 2、提高核能反应堆设施耐用性

开发新型的核反应堆结构材料和核燃料材料、制造工艺、数字化智能测试技术，在核反应堆中开展中子和离子辐照实验，来研究新开发材料的抗辐照性能和耐老化特性，以获得抗辐照性能更加优异的新材料从而增强核反应堆的耐用性，延长其使用寿命。

（郭楷模）

## 无氧化处理的高效 CO<sub>2</sub> 改性有机空穴材料简化制备工艺

在钙钛矿太阳能电池中，空穴传输材料通常采用掺杂的有机半导体，其中2,2',7,7'-四[N,N-二(4-甲氧基苯基)氨基]-9,9'-螺二芴（Spiro-OMeTAD）是最为常用的空穴材料，其导电性能显著影响其电荷收集效率，进而影响电池性能。为了提高Spiro-OMeTAD的导电性，通常需要掺杂（三氟甲烷）磺酰亚胺锂（LiTFSI），该过程主要通过将Spiro-OMeTAD:LiTFSI共混膜暴露在空气和光照中数小时来引发（该过程中氧作为p型掺杂剂），整个过程耗费时间且在很大程度上取决于环境条件，不利于钙钛矿太阳能电池的规模化生产，亟需研发新空穴材料或制备工艺。

纽约大学André D. Taylor教授课题组牵头的国际联合研究团队设计开发了一种CO<sub>2</sub>处理的高性能Spiro-OMeTAD制备工艺，无需在空气中进行数个小时的氧化处理，大幅简化了制备流程，基于该空穴材料的电池器件获得了19.1%的转换效率。研究人员将两个原始的Spiro-OMeTAD与LiTFSI的混合膜（Spiro-OMeTAD:LiTFSI）置于两个含有相同有机溶液容器中，随后分别向上述溶液中引入氧气（O<sub>2</sub>）和CO<sub>2</sub>进行氧化处理，且两个溶液都同时辅以紫外线处理。实验结果显示，CO<sub>2</sub>处理后的

<sup>8</sup> DOE Invests \$61 Million in Advanced Nuclear Energy R&D Projects Across America  
<https://www.energy.gov/articles/doe-invests-61-million-advanced-nuclear-energy-rd-projects-across-america>

掺杂空穴薄膜 Spiro-OMeTAD:LiTFSI 具有最优异的导电性,达到了  $4.91 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$ , 比原始 Spiro-OMeTAD ( $6.04 \times 10^{-7} \text{ S cm}^{-1}$ ) 高出近 100 倍, 比  $\text{O}_2$  处理的掺杂空穴 Spiro-OMeTAD:LiTFSI 高出 5 倍, 而且也比传统的暴露空气处理的方法导电性高。随后研究人员分别采用上述三种空穴制备相应的三个钙钛矿太阳能电池器件并进行电化学性能测试, 结果显示, 基于无掺杂的原始 Spiro-OMeTAD 空穴电池的转换效率仅为 9.0%, 而  $\text{O}_2$  处理掺杂空穴的电池效率增加到了 17.3%, 采用  $\text{CO}_2$  处理掺杂空穴的器件效率则进一步增加到了 19.1%。随后开展电池老化测试发现, 采用原始 Spiro-OMeTAD 空穴和  $\text{O}_2$  处理掺杂空穴电池工作 6 个小时后电池性能都出现了显著衰退情况, 前者下降了近 35%, 后者下降约 25%; 而基于  $\text{CO}_2$  处理的掺杂空穴电池器件在连续运行 500 小时后, 仍可以保持 80% 的初始效率, 主要原因是  $\text{CO}_2$  引入后会形成不可溶的碳酸锂 ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) 消耗了  $\text{Li}^+$  离子抑制了复合中心形成。上述实验结果表明了  $\text{CO}_2$  处理不仅可以提升空穴导电性, 同时还可以改善其稳定性。

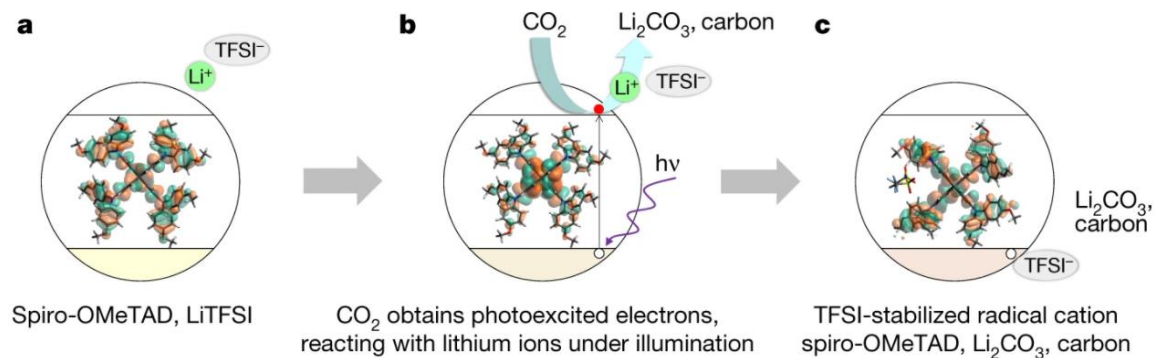


图 1  $\text{CO}_2$  处理的掺杂空穴电池器件电化学性能改善机理

该项研究设计开发了新型的空穴氧化处理新工艺, 即  $\text{CO}_2$  气泡处理, 相比传统的空气暴露处理方法大幅简化了流程, 新方法增强了空穴薄膜的导电性, 进而提升了电池性能, 同时还增强电池长程稳定性, 推动钙钛矿太阳电池技术加速迈向商业化。相关研究成果发表在《Nature》<sup>9</sup>。

(王珍 郭楷模)

<sup>9</sup> Jaemin Kong, Yongwoo Shin, Jason A. Röhr, et al.  $\text{CO}_2$  doping of organic interlayers for perovskite solar cells. *Nature*, 2021, 594, 51–56.

# 低碳化多能融合

## 美能源部发布打造本土锂电池供应链十年发展蓝图

6月7日，美国能源部（DOE）发布《国家锂电池蓝图 2021-2030》报告<sup>10</sup>，作为美国第一份由政府主导制定的锂电池发展战略，提出了未来十年打造美国本土锂电池供应链的五大主要目标和关键行动，以指导锂电池价值链相关联邦政府机构开展协作，满足不断增长的电动汽车和储能市场需求，确保国家长期经济竞争力和公平就业，实现拜登政府国家安全和能源气候目标。具体内容如下：

**（1）确保电池原材料供应安全，寻找关键矿物原料替代品，降低美国锂电池对关键矿物的依赖。**其目标是减少美国锂电池制造业对钴和镍等稀有材料的依赖，以建立更强大、安全、有韧性的供应链。

**短期行动（到 2025 年）：**①与合作伙伴和盟友一起建立电池关键原材料的可靠来源和供应；②通过支持研发和开发采矿技术，提高美国电池关键矿物（锂、镍和钴）安全供应和可持续生产能力；③制定联邦政策，支持建立具有韧性的国内和全球关键原材料来源和供应体系。

**长期行动（到 2030 年）：**①通过支持研发工作，取代锂离子电池中的钴和镍元素需求；②将废旧电池回收利用作为电池循环经济的关键组成部分。

**（2）建设能够满足美国国内锂电池原材料加工能力的生产基地。**目前，美国大部分锂电池原材料的加工都依赖于国际市场。从锂电池中去除关键矿物（如钴和镍），以及降低电池材料成本（如正极、负极和电解质）的新工艺，是促进原材料加工业未来增长的关键因素。

**短期行动（到 2025 年）：**①刺激国内电池材料加工业需求增长；②支持材料工艺创新研发，以生产低钴/无钴材料，并扩大生产规模；③改进现有材料的工艺，降低制造成本，提高电池性能，使电池成本达到 60 美元/千瓦时；④与合作伙伴和盟友合作，促进加工材料供应链的多元化。

**长期行动（到 2030 年）：**①支持材料加工工艺创新研发，以生产无钴和无镍的活性材料，并实现规模化生产。

**（3）促进美国国内正负极材料等前驱体、电芯、电池组的生产能力。**过去 10 年里，锂电池组成本降低了约 85%，到 2020 年达到 143 美元/千瓦时。美国应制定

<sup>10</sup> National Blueprint for Lithium Batteries 2021-2030.  
<https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/national-blueprint-lithium-batteries>

联邦政策框架，支持国内电极、电池和电池组生产，刺激锂电池需求增长。此外，进一步研发具有经济效益的电极、电池和封装制造工艺，以满足需求增长。

**短期行动（到 2025 年）：**①促进新型电池设计研发，减少电池组装时间，并降低组装成本；②加快新技术和制造工艺的规模化生产和商业化；③为国防、电动汽车和电网应用开发相应的电池性能标准；④制定联邦政策框架，支持美国企业在国内生产电极、电池和电池组，促进锂离子电池的需求增长。

**长期行动（到 2030 年）：**①通过多样化的国内供应商满足国防用锂电池的关键性能需求；②通过研发下一代封装材料、组件和创新设计，以及先进的制造和组装技术，将电动汽车封装制造成本降低 50%。

**(4) 在美国建立废旧电池回收和材料循环利用机制，并形成具有竞争力的锂电池价值链。**锂离子电池的回收利用不仅可以缓解关键矿物的稀缺性问题，增强环境的可持续性，还可以支持一个更安全、更有弹性的国内材料供应链。未来需重点降低废旧电池回收成本，并开发一个有弹性的市场，将退役电动汽车的电池进行二次利用。

**短期行动（到 2025 年）：**①促进电池包的设计，便于二次利用和回收；②以降低成本为重点，建立回收锂离子电池材料的收集、分类、运输和加工流程方法；③提高钴、锂、镍和石墨等关键材料的回收率；④开发加工技术，将回收的关键材料重新引入供应链；⑤为二次利用的电池部件开发合适的组装流程和测试方法；⑥制定联邦回收政策，以促进锂离子电池的回收和再利用。

**长期行动（到 2030 年）：**①鼓励消费电子产品、电动汽车和储能电池的回收利用，使其回收利用率达到 90%；②制定联邦政策，要求在电池制造材料中使用回收材料。

**(5) 保持和推进美国在电池技术研发方面的国际领先优势。**重点关注从下一代锂离子电池到全固态电池的新型电极、电解质材料和电池制造方法。并进行强有力的知识产权保护，通过公私研发伙伴关系促进创新技术的商业化。

**短期行动（到 2025 年）：**①支持研发无钴正极材料和电极成分，重点关注能量密度、电化学稳定性、安全性和成本等重要指标，使其优于目前的商业进口产品；②发展伙伴关系为技术转让和应用前测试制定标准，以确保在美国发明的电池技术应用于美国市场；③在政府范围内实施锂电池技术和配置的标准化，提高政府利基市场（如国防）中的锂电池技术快速应用到其项目的的能力，并从一个强大、公平、可持续的国内供应链中受益；④加强知识产权保护战略、研究国内制造业出口控制政策以及国际盟友的参与机制；⑤与行业合作伙伴一起确定劳动力需求并支持教育规划。



**长期行动（到 2030 年）：**①开发不含钴和镍的正极材料和电极成分，提高能量密度、电化学稳定性、安全性和成本等重要指标，并优于目前的商业进口产品；②加快研发，实现包括固态和锂金属在内的变革性电池技术的示范和大规模生产，实现电池生产成本低于 60 美元/千瓦时，电池能量密度超过 500 Wh/kg，且电池成分中无钴和镍元素。

（汤匀）

## 美能源部推出氢能攻关计划加速低成本清洁氢能发展

6 月 7 日，美国能源部（DOE）宣布发起“能源攻关计划”（Energy Earthshots Initiative），旨在未来十年加速低成本可靠的清洁能源技术突破。当天启动的首个计划为“氢能攻关”计划（Hydrogen Energy Earthshot），目标是在未来十年使清洁氢成本降低 80%至 1 美元/千克<sup>11</sup>，以加速氢能技术创新并刺激清洁氢能需求。

“氢能攻关”计划为部署清洁氢能建立了框架和基础，其中包括对示范项目的支持。工业界已经开始部署清洁氢能以减少排放，但是大规模部署仍然存在许多障碍。目前，可再生能源制氢价格约为 5 美元/千克。通过实现 80%的成本削减目标，能够增加可再生能源、核能和热能转化等途径的清洁氢产量，使清洁氢的需求增长 5 倍。这将创造更多清洁能源就业机会，减少温室气体排放，并使美国在全球清洁能源市场具有竞争力。

为了支持“氢能攻关”计划，DOE 当天在“氢能计划”（Hydrogen Program）框架下发布了一份氢能示范的信息请求文件，以征集可行的氢能示范和部署项目，帮助 DOE 氢能计划进一步确定其研发范围和优先事项，加快低成本清洁氢的生产、储存、交付和最终使用，减少当地碳排放和空气污染。此次信息请求的主题包括：

**1、区域氢生产、资源和基础设施。**该主题下征求支持氢能示范项目理想地区的具体建议，此类地区需要拥有可用于清洁氢生产和基础设施的必要资源，包括但不限于水、可再生能源、核能、天然气（配备 CCS）或从其他废物（如垃圾填埋场、火炬气、废水处理）中获得的能源。

**2、基于特定区域、成本和价值主张的氢能终端用户。**该主题下征求：①氢能示范项目理想地区的现有和潜在未来终端用户，例如工业、交通、化学品制造、重型卡车和其他最终用途；②氢能示范项目的商业案例，包括投资回报和时间表；③氢能示范项目利用氢气实现电网弹性的潜在好处，包括在停电情况下是否有机会将存储的氢能作为备用电源，大规模生产和存储氢气支持电网弹性的挑战，以及利用氢能保障电网安全的可行性。

<sup>11</sup> Secretary Granholm Launches Hydrogen Energy Earthshot to Accelerate Breakthroughs Toward a Net-Zero Economy. <https://www.energy.gov/articles/secretary-granholm-launches-hydrogen-energy-earthshot-accelerate-breakthroughs-toward-net>

3、**温室气体和其他污染物减排潜力。**该主题下征求对氢能示范项目的预期减排量和时间范围的定量信息，包括整个氢能价值链的温室气体减排潜力和其他污染物减排潜力。

4、**多样性、公平性与包容性（DEI），就业和环境保护。**该主题下征求：①氢能示范项目能够提供的 DEI 和环境保护的相关机会，以及对社区产生积极影响的潜力；②示范项目能够为当地提供的就业机会；③建立环境保护社区需解决的挑战或障碍，以及在社区推进氢能技术的相关机会，该类社区可以更好地利用少数族裔服务机构或通过实习/培训机会使少数群体受益。

5、**科学与创新的需求和挑战。**该主题下征求：①氢能示范项目可能需要的任何基础科学、基础或应用研究以及创新的需求和挑战，还需提供相关科学设施或计算工具建议；②可用或需要的系统集成或原型设计设施。

（岳芳）

## 美能源部支持研发废弃物清洁制氢技术

近期，美国能源部（DOE）宣布资助 200 万美元支持新遴选的 4 个制氢研究项目<sup>12</sup>，旨在依托共气化技术和可再生原料（如农业、林业废弃物）开发清洁制氢技术，支持美国未来可持续能源系统构建，助力美国实现 2050 净零排放目标，应对气候变化挑战。本次资助 4 个项目由四个研究机构分头开展，具体内容如表 1 所示。

表 1 清洁制氢技术研究项目具体内容

承担机构	具体内容	资助金额/ 万美元
奥本大学	针对混合生物质原料（农业、林业废弃物），开发实验室规模的流化床生物质气化炉，并开展现场的气化性能验证评估	50
美国电力研究所	针对煤、生物质、塑料废弃物混合原料，开发移动床气化炉，用于清洁制氢	50
肯塔基大学研究基金会	对煤、生物质和塑料废弃物混合原料进行实验室规模的动力学和气化性质研究，在此基础上开发一种以煤、生物质和塑料废弃物混合物作为原料制备燃料技术，并在商业化的流化床气化炉上开展新技术的验证评估	50
犹他大学	利用流化床技术进行生物质与塑料废弃物共气化制备燃料油产品（如润滑油）	50

（王珍 郭楷模）

<sup>12</sup> U.S. Department Of Energy Awards \$2 Million To Develop Clean Hydrogen Technologies.  
<https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-awards-2-million-develop-clean-hydrogen-technologies>

## 全球领先氨气企业和日本最大发电公司签署绿色氨战略协议

全球领先氨气生产企业雅拉国际（ASA）与日本最大的发电公司（JERA）签署了战略协议<sup>13</sup>，以合作开发蓝氨/绿氨<sup>14</sup>的生产、输送和供应链，实现日本热发电零排放目标。日本近日宣布计划将氨引入火力发电的燃料组合中，作为 2050 年实现碳中和措施中的一部分。作为日本绿色增长战略的一部分，政府的目标是到 2030 年进口 300 万吨氨。氨在燃烧过程中不会释放 CO<sub>2</sub>，被视为未来的绿色能源。

根据雅拉国际与日本 JERA 签署的战略协议，未来将在以下领域开展合作：（1）日本氨能需求的供应和发展，包括发电领域；（2）雅拉公司将位于澳大利亚皮尔巴拉的氨工厂生产的蓝氨供给 JERA；（3）进行新一轮清洁氨（蓝氨和绿氨）项目开发；（4）优化日本的氨物流。

**编者按：**JERA 是日本最大的发电公司，发电量约占日本发电总量的 30%。JERA 致力于建立绿色燃料供应链，到 2050 年实现在日本和海外运营项目 CO<sub>2</sub> 零排放。雅拉（ASA）公司是氨领域世界领导者，在全球氨生产、物流和贸易领域拥有丰富的经验和领先地位。这家总部位于奥斯陆的工厂年产能约 850 万吨氨。此外，雅拉公司拥有 11 艘氨气运输船，包括 5 艘全资船舶，拥有 18 个海洋氨码头，存储能力为 58 万吨氨。雅拉公司最近建立了一个新的清洁氨装置，以抓住航运和电力零排放燃料、无碳肥料和工业用氨的增长机会。

（汤匀）

## 基于质子穿梭策略实现全球首次零排放氨合成

氨是化肥生产的重要原料之一，有助于维持全球的粮食生产。随着农业生产的不断发展，对氨的需求量不断增长，然而传统哈伯-博世（Haber-Bosch）方法合成氨工艺不仅会造成大量二氧化碳排放，而且反应条件比较苛刻，需要较高的温度和压力。因此，因此亟需开发绿色经济的合成氨方法。

澳大利亚莫纳什大学科学家 Douglas R. MacFarlane 团队提出一种新型氨合成方法，引入四烷基磷盐作为质子源，基于质子穿梭策略，实现了零碳排放氮还原为氨反应。研究人员发现，四烷基磷盐除了实现质子源的循环反应，还提供了额外的离子电导率，电化学生成的氮化锂与磷阳离子反应生成氨和叶立德，后者是一种很强的碱，很容易被阳极氧化反应中产生的 H<sup>+</sup>重新质子化，重新还原为磷阳离子，四烷基磷盐在整个电化学氮气还原反应（NRR）过程中不会消耗。利用 Berthelot 和 Griess 比色法以及气相色谱仪测量所使用的气体和电解质溶液的纯度，结果证明新的磷质

<sup>13</sup> Yara And JERA Sign Green Ammonia MoU. <https://www.world-energy.org/article/17637.html>

<sup>14</sup> 蓝氨是在化石燃料提炼过程中利用碳捕获和封存技术（CCS）；而绿氨则来自可再生能源的氢气作为原料，中间不产生碳排放。

子源在所采用的电还原条件下不会引入任何能产生氨的外来污染。在 0.5 bar 氢气和 19.5 bar 氮气下进行电化学测试，结果发现  $\text{NH}_3$  的产率为  $54 \pm 10 \text{ mmol s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，法拉第效率为  $66 \pm 9\%$ （该结果重复 6 次）。随后在恒电流模式下进行了 4 小时、8 小时和 20 小时的电化学检测，结果表明基于磷质子穿梭的氨电化学合成反应非常稳定。20 小时重复试验的平均氨产率为  $53 \pm 1 \text{ mmol s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，法拉第效率为  $69 \pm 1\%$ ，该结果显著高于以前的研究报道（氨产量为  $30 \text{ mmol s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，法拉第效率为 35%）。电化学阻抗测试结果显示，反应 20 小时后，工作电极表面状态没有发生明显变化。利用多核核磁共振对电解质溶液进行表征，结果表明该合成反应过程中没有明显的副产物生产。

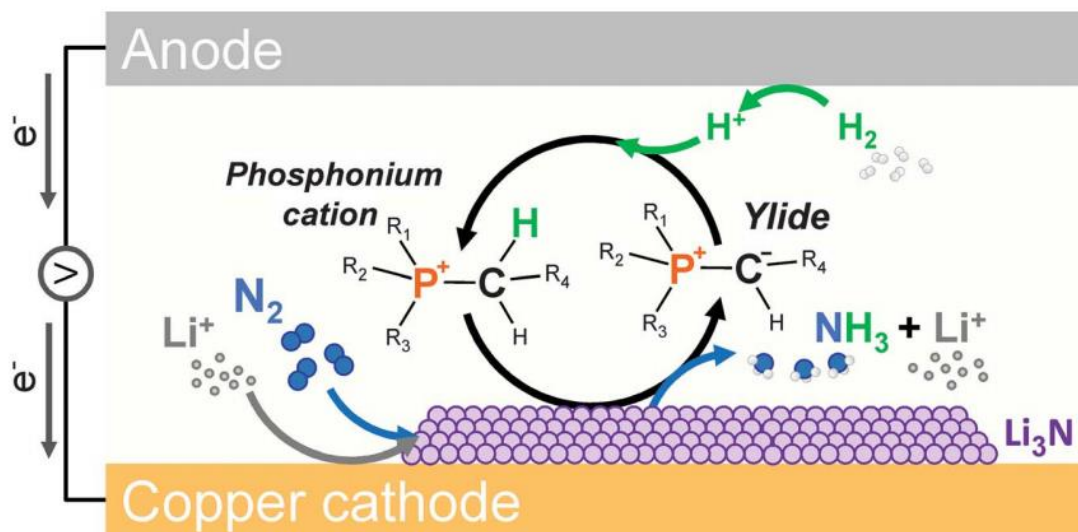


图 1  $\text{H}_2$  和  $\text{N}_2$  持续电化学氮气还原合成氨反应示意图

该项研究在电化学氮气还原反应（NRR）系统中引入一种磷盐作为质子源，为反应过程提供了额外的离子电导率，该反应只需在室温和正常大气压下合成氨，并实现零碳排放，氨产率也高于传统工艺。该方法证明了利用可再生能源生产氨以及肥料的潜力，为未来 NRR 发展开辟了广泛的可能性，有望加快绿色氨生产步伐，催生新的绿氨经济。相关研究成果发表在《*Science*》<sup>15</sup>。

（占威 汤匀）

<sup>15</sup> Bryan H. R. Suryanto, Karolina Matuszek, Jaecheol Choi, et al. Nitrogen reduction to ammonia at high efficiency and rates based on a phosphonium proton shuttle. *Science*, 2021, 10.1126/science.abg2371

# 能源战略研究

## IEA：2021 年全球能源投资有望止住下降势头出现反弹

6月2日，国际能源署（IEA）发布《2021 全球能源投资报告》<sup>16</sup>指出，随着经济从新冠疫情中逐步复苏，全球能源需求预计显著回升，从而带动相关投资增长，预计 2021 年全球能源投资有望反弹近 10%，投资总额将回归新冠疫情前水平。报告对全球能源投资概况和发展态势进行了系统分析，关键点如下：

### 1、2021 年全球能源投资预计反弹 10%，扭转新冠疫情导致的下降态势

2021 年，全球能源投资预计增至 1.9 万亿美元，较 2020 年回升近 10%，扭转疫情造成的大幅下降态势，使投资总量回到疫情前水平。然而，投资的主要构成已转向电力和终端用能部门，而不是传统的燃料生产。

尽管各国之间差别较大，但投资前景普遍随着经济复苏而显著改善。根据 IEA 最新测算，2021 年全球能源需求预计将增长 4.6%，足以抵消 2020 年 4% 的下降。尽管许多能源企业财务状况仍旧处于脆弱状态，但有迹象表明，开发商正在利用宽松货币政策和政府各类支持政策提供的窗口来规划基础设施开发和新项目投资。

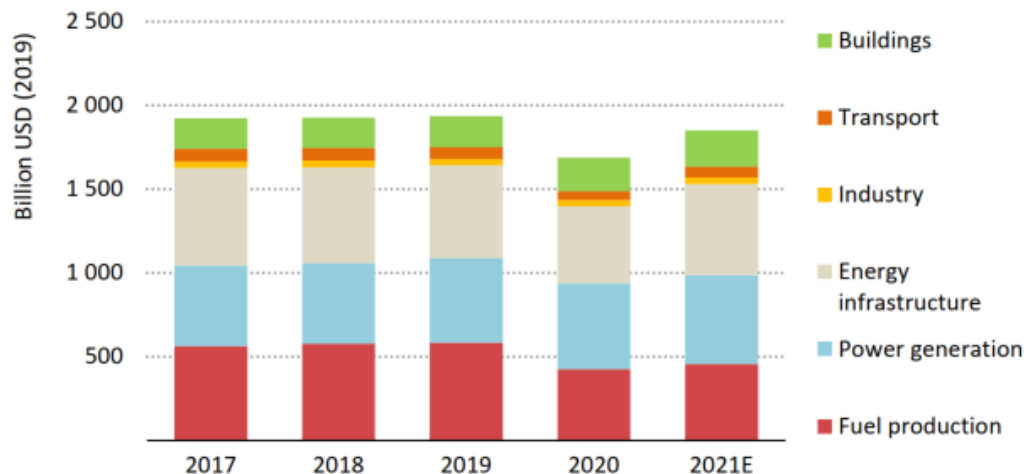


图 1 2017-2021 年全球能源投资变化态势（单位：十亿美元）

预计 2021 年投资增长是经济复苏的周期性反应和资本流向更清洁技术的结构性转变共同作用的结果。然而，尽管迫切需要转向更可持续的能源发展路径，但全球二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放量仍将在 2020 年出现有史以来最大年度降幅的基础上再度反弹，重回增长态势。

### 2、受可再生能源支出强劲增长的推动，电力继续在能源供应投资中占最大份额

<sup>16</sup> Global Energy Review: CO<sub>2</sub> Emissions in 2020 Understanding the impacts of Covid-19 on global CO<sub>2</sub> emissions. <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>



全球电力行业投资继 2020 年持平之后,2021 年全球电力行业投资将增长约 5%,超过 8200 亿美元。可再生能源在新增发电投资中占主导地位,预计将占到 2021 年所有新增发电容量投资总额(5300 亿美元)的 70%。其余的则是对电网和储能的投资。由于技术的快速改进和成本的降低,如今在风能和太阳能光伏部署上花费一美元产生的电力,是十年前相同技术花费一美元产生电力的四倍以上。

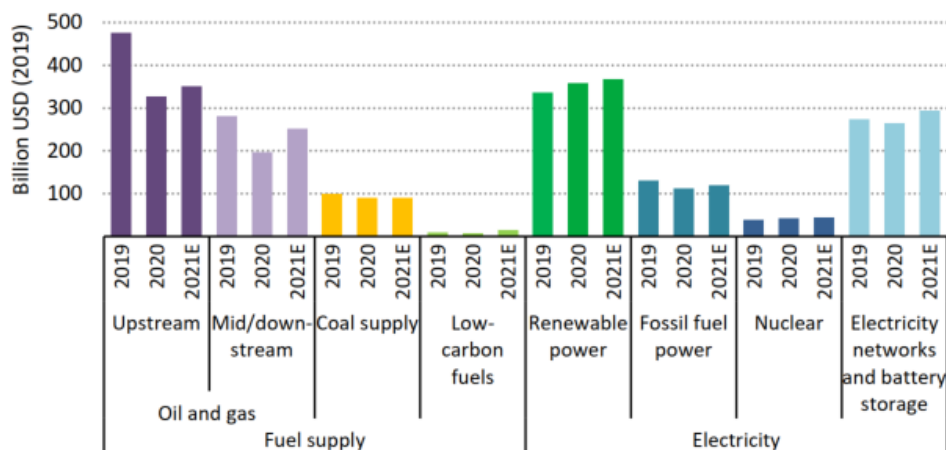


图 2 2019-2021 年全球能源供应端各部门投资情况 (单位: 十亿美元)

可再生能源投资在拥有完善供应链的市场中蓬勃发展。在这些市场中,成本较低,同时监管框架提供现金流的可预见性,且对这些行业有深入了解的贷款方和融资方正在寻求可持续的项目来支持。企业部门为实现可持续发展目标对清洁电力的需求也发挥了作用。2020 年的大部分投资集中在少数几个市场,尤其在中国,风电投资显著增加。同样的情况也在美国和欧洲出现。2020 年电力行业的资本投资连续第五年高于石油和天然气供应投资。

电气化也是消费者投资支出的主要驱动力。在燃油经济性目标和零排放汽车要求的支持下,电动汽车的销量随着汽车制造商提供的新车型激增而继续飙升。

### 3、政策依旧是推动能源投资增长的主要驱动力,复苏计划影响在一些国家逐步显现

在政府拥有更多财政空间并能够以低利率借款的经济体中,复苏战略为促进基础设施、能源效率和清洁能源技术的投资提供了重要机会。就基础设施而言,在 2020 年连续第四年下降后,预计 2021 年将出现反弹,预计中国和欧洲最为显著。如果美国拟议的基础设施投资计划获批,将进一步增强这一势头。

伴随经济复苏和相关复苏计划推出,2021 年的能效支出将增加近 10%。然而,在燃料价格相对较低的背景下,增长主要集中在政策明确支持的市场和部门,例如欧洲的建筑部门。政策和经济刺激计划支出正在推动低碳氢和碳捕集、利用与封存(CCUS)等新领域的项目开发。

然而,尽管出现了上述积极复苏迹象,但清洁能源技术的刺激性支出远远低于

确保经济可持续复苏所需的资金。许多发展中国家缺乏实施扩张性复苏战略的手段，一些经济体出现早期通胀迹象，导致人们对当前低利率环境持续时间的质疑。

#### 4、净零承诺和可持续的融资势头尚未转化为清洁能源项目实际支出的增长

在过去的一年里，政府、企业和金融机构纷纷提出到 2050 年左右实现净零排放的承诺。许多发达经济体的金融界都围绕可持续金融团结起来，推出了基金和举措，以引导资本市场日益增长的可持续金融投资市场需求，并遵守新的披露规则。可持续债券发行迅速增加，2020 年达到创纪录的 6000 亿美元，绿色债券的主流化越来越多地伴随着新型证券和基于绩效的工具，以支持更复杂的转型。

清洁能源企业在金融市场表现良好，近年来可再生能源企业的表现优于化石燃料上市企业和公共股票市场指数，波动性较低。尽管在 2021 年初出现了一些回落，但在 2020 年下半年价格出现特别强劲的上涨之后，估值仍然很高。

即使 2021 年清洁能源支出将增加约 7%，但资金流动的增长速度仍高于实际资本支出。优质清洁能源项目仍然紧缺，此外由于没有足够的渠道将可用资金引导到正确的方向，以及缺乏能够将盈余资本与企业 and 消费者的可持续发展需求相匹配的中介机构，情况变得更加复杂。

#### 5、尽管清洁能源投资正在温和上涨，但与应对气候变化需求仍旧相去甚远

预计 2021 年全球清洁能源技术和能效的投资达到 7500 亿美元，但仍远低于应对气候变化所需要的投资。清洁能源投资需要在 21 世纪 20 年代翻一番，才有望将温升控制在低于 2°C。而要实现 1.5°C 目标，则清洁能源投资需要增加三倍以上。转向与气候目标一致的能源路径取决于政府行动，包括对金融架构的关注，这些架构可以加速对市场投资，并促进早期技术的创新。正如 IEA 到 2050 年能源部门实现净零排放的路线图所强调的那样，政策需要推动清洁能源投资实现历史性激增。

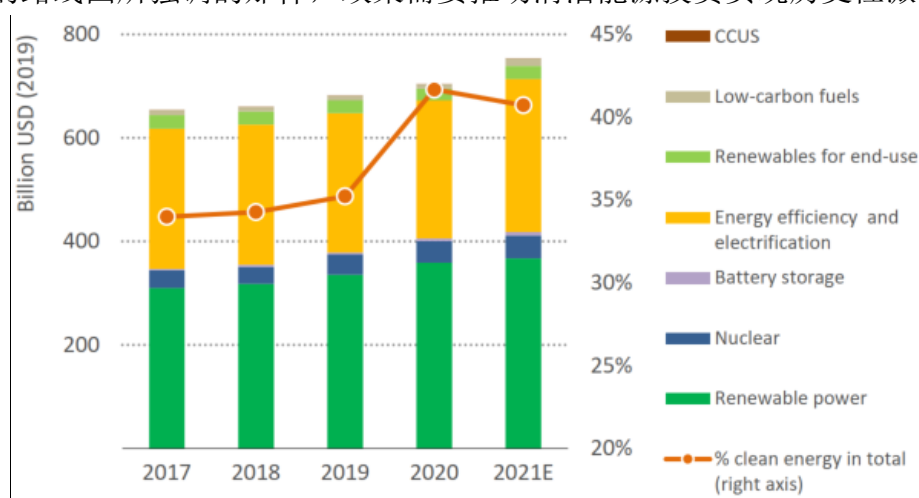


图 3 2017-2021 年全球清洁能源和能效投资变化态势（单位：十亿美元）

政府明确政策信号不仅可以减少与清洁能源投资相关的不确定性，还可以避免投资可能未得到充分利用。政策调整速度的不匹配性（过快或者过慢）可能会产生

风险。例如，如果电网投资步伐缓慢导致风能和太阳能光伏发展出现瓶颈，或者如果石油和天然气供应商比其消费者更快地摆脱碳氢化合物。随着金融监管机构努力使资本流动与气候目标保持一致，实体经济进展放缓可能会导致投资者高估某些行业的价值，同时低估其他行业，使得行业发展面临挑战。

## **6、在新兴市场和发展中经济体，当今的投资趋势与可持续发展路径之间差距更大**

与发达经济体和中国相比，2021 年新兴市场和发展中经济体的能源投资将低于疫情前的水平，这在很大程度上是因为它们的公共卫生和经济双重危机持续时间更加持久。中国以外的新兴市场和发展中经济体人口占全球近三分之二，但仅占全球能源投资的三分之一和清洁能源投资的五分之一。

与发达经济体相比，这些新兴市场和发展中经济体需要从财政空间更小、融资渠道更受限的起点实现投资的大幅增加。疫情加剧了公用事业以及新兴市场和发展中经济体中其他主要投资参与者的财务压力，导致扩大获得现代能源的进度受挫。

## **7、化石燃料投资的平衡正向国有企业倾斜**

随着企业从 2020 年的新冠肺炎疫情冲击中复苏，上游石油和天然气投资预计将在 2021 年增长约 10%，但支出仍远低于疫情前的水平。更多的需求和更高的石油和天然气价格导致投资策略出现分歧。成本控制仍然是永恒的主题，但一些主要的国有石油公司正在寻求逆周期投资以获得市场份额。卡塔尔决定推进世界上最大的液化天然气（LNG）扩张，并将碳捕集纳入其发展计划，这是保持其液化天然气领先地位的关键举措。

私营企业面临着控制石油和天然气投资组合的巨大压力。尽管价格上涨，但预计 2021 年主要石油公司在石油和天然气总支出保持不变，它们在上游总支出中的份额目前为 25%，而 21 世纪前 10 年中期这一比例接近 40%。

国有企业的主导地位在煤炭供应方面也很明显，投资动态很大程度上取决于中国和印度的情况。在中国，政策优先事项是通过关闭效率低下的小型矿山，并投资于大型、全机械化矿山来实现该行业的现代化。在印度，国内投资的主要驱动力是减少煤炭进口。

总体而言，2020 年燃料供应投资的绝大部分都投向了化石燃料（84% 投向了石油和天然气，14.5% 投向了煤炭），仅有约 1.3% 用于低碳燃料。当前的燃料投资支出既不足以满足当前的化石燃料消费发展趋势，也不足以实现未来的清洁能源发展目标。

## **8、新建燃煤电厂微弱增加的投资决策表明了煤炭发展正在走下坡路**

随着可再生能源在新增发电投资中的份额不断上升，新建燃煤电厂的审批量急剧下降，比五年前下降了约 80%。然而，2020 年新燃煤项目的批准略有增加。这主

要是由于中国政府放宽了对新建电厂的限制,为更多省份的建设开了绿灯。柬埔寨、印度尼西亚和巴基斯坦是另外几个 2020 年燃煤最终投资决策 (FID) 增加的国家。这三个国家总共批准了近 5 吉瓦的新煤炭产能。在印度,批准的数量降至 1 吉瓦以下,为十年来的最低水平。

2020 年中国的燃煤 FID 约为 2010 年水平的 25%,印度不到 5%。2020 年,全球燃气电厂的 FID 略有下降,但仍是煤炭的两倍多(50 吉瓦对 20 吉瓦)。美国新建燃气发电产能的 FID 大幅减少,抵消了亚洲部分地区(中国和印度以外)的增长。

### **9、石油和天然气行业对清洁能源的投资开始回升**

伴随能源转型,石油和天然气公司正面临越来越大的压力,他们需要及时调整其投资策略以适应清洁能源转型的需求。这种调整策略包含不同的形式,包括承诺减少石油和天然气供应端的排放,或投资于清洁电力或可持续燃料等新领域。

2020 年,油气行业的清洁能源投资仅占其总资本支出的 1%左右。然而,我们的跟踪表明,由欧洲大企业领导的多元化投资承诺已经开始产生影响。如果全年延续 2021 年迄今为止的表现,2021 年油气行业用于清洁能源投资的资本投资份额可能会上升到 4%以上。2021 年第一季度海上风电项目融资额度明显高于 2020 年全年。

### **10、创新是实现净零排放目标的关键抓手,但 2020 年政府和企业 在能源研发方面的支出呈现了差异化特性**

2020 年,公共部门的能源研发支出继续增加,其中低碳技术比重上升至 80%。然而,由于疫情导致企业预算削减,私营部门的能源研发支出下降了约 2%。为确保将新技术推向市场的能力不会因疫情受到影响,各国政府发挥着关键作用。

2021 年初低碳能源创新投资大体上呈现积极态势。主要经济体强调创新和增加资金投入,作为其实现净零排放计划的一部分。到 2030 年,总共有超过 500 亿美元的公共资金可用于大规模低碳能源技术的重大示范项目,包括 CCUS 和其他减少工业排放的方法。另一个积极信号是到 2020 年低碳能源技术早期风险资本融资呈现出了良好的韧性。

(廖明月 郭楷模)



## 拜登政府公布 2022 财年能源部 462 亿美元预算纲要

5 月 28 日，美国总统拜登公布了 2022 财年美国能源部（DOE）462 亿美元预算纲要<sup>17</sup>，较 2021 年预算上调了 23%，旨在通过推进清洁能源创新、部署清洁能源项目、科学应对气候危机、确保国家核安全、强化核环境管理、加强国家能源基础设施建设等，解决能源、环境和核安全挑战，保障国家能源安全和经济持续增长，有助于美国建立清洁能源经济，确保在 2050 年达到净零排放。具体内容如下：

### 一、投资 80 亿美元用于应用能源技术项目的创新研发

加大支持政府对项目后期开发、示范和部署，以促使相关技术快速普及和商业化应用，促使美国能源供应更经济、可靠和有效，实现美国能源独立，占据全球主导地位。主要包括：

**1、为能源效率和可再生能源办公室投资 47.32 亿美元**，为减少温室气体排放，2035 年之前实现无碳电力，主要侧重于五个优先领域：（1）电力部门脱碳：向无碳电力部门转型，对能够降低可再生能源发电成本的关键技术进行投资，并进行可再生能源并网技术研发，确保电网发展的可靠性、安全性和弹性。（2）交通运输部门脱碳：开发实现交通运输部门（包括公路、铁路、航运和海运）负担得起的净零排放技术，并减少对空气质量的影响，实现环境可持续发展。（3）工业部门脱碳：支持依靠氢等可再生能源和燃料为工业过程提供动力的方法，利用碳捕集、利用技术，大幅提高效率。（4）建筑部门减少碳排放：支持在州和地方各级政府对新型经济适用房和先进节能建筑进行改造，并进行相关节能项目示范、部署。（5）农业部门脱碳：通过开发生物燃料、提高农用机械效率、现场动物粪便利用以获得清洁能源，设计更多的高效灌溉系统，扩大在农业部门减少温室气体排放方面开展工作。

**2、为网络、能源安全和应急响应办公室投资 2.01 亿美元**，开展先进的网络安全技术研究，提升美国能源系统抵御网络攻击和自然灾害侵袭的能力。

**3、为石油储备办公室投资 2.18 亿美元**，其中 1.97 亿美元用于战略性石油储备（SPR），以应对美国石油供应可能出现的中断和短缺。

**4、为电力办公室投资 3.27 亿美元**，通过技术研发，提高电网的可靠性、弹性、效率和灵活性；开发新的、先进、大规模实用储能技术；设计源头自动检测、自动阻断和抵御网络危险的下一代操作系统；构建国家级传感器、数据和通信架构平台和电力存储传输平台。

**5、为核能办公室投资 18.51 亿美元**，重点关注三个主要领域：国家现有的核设施、先进核反应堆概念的发展、核反应堆燃料循环技术。并从核废料基金中拨款 750 万美元，用于核废料标准化管理。

<sup>17</sup> Statement by Energy Secretary Granholm on the President's U.S. Department of Energy Fiscal Year 2022 Budget. <https://www.energy.gov/articles/statement-energy-secretary-granholm-presidents-us-department-energy-fiscal-year-2022>



**6、为化石能源和碳管理研发项目投资 8.9 亿美元**，重点研究早期技术，以确保获得清洁和可负担的能源，促进向无碳经济过渡，重建美国关键矿物供应链。预算将重点支持碳捕集、利用和封存技术；直接空气碳捕集技术；生物质废物转化技术；氢能开发利用等多个领域。

**二、投资 74 亿美元用于推进尖端领域基础科学研究和大型科技基础设施建设**包括支持未来产业如量子信息科学（QIS）、人工智能（AI）和机器学习（ML）等，以及微电子、先进制造、生物技术等关键技术研发。预算重点包括：

**1、10 亿美元用于先进科学计算研究（ASCR）**，通过对计算研究、应用数学和计算机科学的投资，以及对多重、大型、高性能和先进计算设施和高性能网络的开发和运营，提高美国竞争力。

**2、23 亿美元用于基础能源科学（BES）**，以支持基础研究，理解、预测并最终控制电子、原子和分子水平的物质和能量，为新能源技术开发提供理论基础，避免能源消费对环境的影响，并支持 DOE 在能源和环境方面的项目部署。重点支持政府在清洁能源方面的优先事项（如碳捕集、氢能和太阳能光伏等相关主题）；关键材料和变革型制造（包括聚合物优化改造利用和下一代微电子）；以及国防安全、量子信息科学、数据分析/机器学习、数据驱动科学的集成基础设施、百亿亿次计算等交叉科学技术。

**3、8.28 亿美元用于生物和环境研究（BER）**，以理解从微生物和植物基因到全球宏观规模的环境和生态过程等自然系统中的复杂基础原理。重点资助生物系统的研究和将生物信息整合到计算模型中进行迭代测试和验证，以及建立国家虚拟气候实验室（NVCL）。

**4、6.75 亿美元用于聚变能源科学**，用于支持研究在高温高压下物质性能，并建立开发聚变能源所需的科学基础。重点支持磁聚变的 DIII-D 托卡马克实验装置和国家球形环面实验设施升级维修，以及在极端条件下 Petawatt 设施项目的升级。

**5、11 亿美元用于高能物理（HEP）研究**，以探究宇宙运转的基本原理、物质和能量的最基本成分，探索物质性能及物质之间的相互作用。

**6、7.2 亿美元用于核物理（NP）研究**，以支持发现、探索和理解所有形式的核物质，并继续支持量子科学、微电子、电子离子对撞机的设计和开发。

**7、9000 万美元用于同位素研发和生产**，确保为国家提供可靠的关键放射性和稳定性同位素供应链。

**8、2.95 亿美元用于科学实验室基础设施建设**，通过提供必要的基础设施支持 10 个国家实验室的前沿研究。

**三、投资 11 亿美元建立先进气候研究计划署（ARPA-C）**

遴选并推动有潜力在突破性科学领域取得革命性进展的研究，对 ARPA-E 中先进能源研究任务进行补充，支持无碳电力的变革型解决方案，应对气候危机，加强能源恢复力。预算的重点包括：

**1、5 亿美元用于为商业部门提供创新、可投资的机会。**重点关注技术开发、项目管理以及最具发展潜力的项目商业转化等。

**2、4 亿美元用于建立清洁能源示范办公室（OCED），**以启动和管理一些竞争性招标项目。OCED 将作为能源部核心，加速推进近中期清洁能源技术和系统市场化转化，更快被市场采用。

#### **四、投资 278 亿美元用于国家核安全相关技术研发以及核设施的维护和现代化建设**

其中，76 亿美元用于 60 年来核武器开发、生产以及政府资助的核研究留下的废弃物清理工作；197 亿美元用于维持和推进美国核武库现代化事业，改造升级老化的核武库基础设施。

**1、环境管理（EM）办公室获得 76 亿美元预算，**主要用于 DOE 下属的分布在 11 个州 15 个场地的核废料清理工作，主要包括：（1）9.78 亿美元支持萨凡纳河场地的液体废物处理，用玻璃化高放射性残液让其在容器内稳定不流动的方法以减少这些废物的危害；（2）河流保护办公室获得 13 亿美元预算，继续推进油罐场的安全管理和放射性废液与化学废液处理；（3）9.27 亿美元用于汉福特（Hanford）地下存储罐全站服务，进行相关重要场地基础设施建设；（4）5.49 亿美元用于橡树林核遗址的持续清理工作；（5）在爱达荷州（Idaho）投入 3.81 亿美元用于对低放射性废液的处理、监测、包装和运输；（6）在卡尔斯巴德（Carlsbad）投入 4.3 亿美元用于维修或更换相关基础设施，以及支持设施运行、监管和环境合规行动；（7）在帕迪尤卡（Paducah）和朴茨茅斯（Portsmouth）两地分别投入 2.59 亿美元和 5.3 亿美元，用于持续支持环境修复以及有害气体消除和监测工作；（8）3.34 亿美元用于洛斯阿拉莫斯国家实验室核废液的清除、土壤和地下水的清理以及地表水的保护。

**2、国家核安全管理局（NNSA）获得 197 亿美元预算，**以构建一个安全、可靠、有效的核武器储备，减少全球核威胁，实现核设施现代化。主要预算内容包括：（1）155 亿美元用于推进美国核武库现代化事业：其中 46 亿美元用于库存管理，以支持核武器寿命延长，此外还包括拆除和处置从武器库中退役的核武器及其部件；29 亿美元支持核部件和战略材料的制造现代化活动，包括在洛斯阿拉莫斯国家实验室和萨凡纳河国家实验室场址进行钚弹芯生产，以满足国防部需求；27 亿美元用于核储备技术、新材料和新工艺的相关研究，以及并持续为亚临界实验提供资金支持；36 亿美元用于改造升级老化核武库基础设施，改善恶化的工作条件、设备和设施，继续推进基础设施的现代化；（2）23 亿美元用于防止核扩散事业，包括核反恐与应急

响应，防止有人非法获得核武器或核武材料而带来的核威胁，应对核泄露事件；（3）19 亿美元用于支持海军核动力反应堆研究，持续为美国海军提供安全、高效与一体化的核动力推进系统，继续为哥伦比亚级反应堆系统、陆基 S8G 原型反应堆和乏燃料处理资本重组项目提供资金。

**3、12 亿美元支持国防相关行政活动**，包括遗产管理、环境、健康、安全和防护、企业评估、专门安全活动等相关活动。其中核遗产管理办公室获得 4.29 亿美元预算，以保障核安全企业的人身安全以及为遭受核污染的相关社区提供帮助。此外还包括在 100 多个地点进行长期核污染监控，以及评估与国防相关的铀矿条件和解决物理辐射危害。

## **五、投资 25 亿美元用于上述未确定的其他项目以及部门管理、其他国防活动和监督工作**

预算重点包括：

**1、为能源信息署（EIA）提供 1.27 亿美元预算**，以继续支持独立、公正的能源信息收集、分析和传播，促进制定健全的政策，以及强化市场和公众对能源及其相关的经济环境相互作用的理解。

**2、为印第安能源和项目办公室提供 1.22 亿美元预算**，以促进能源开发和使用的效率，降低能源成本，强化能源和经济基础设施建设，并为印第安人、阿拉斯加土著及其他部落提供电力服务和就业机会。

**3、8000 万美元用于支持公共电力成本**，主要支持四个电力市场管理局向公共实体和电力合作社出售联邦政府的水电传输服务，将电力优先出售给公共单位和电力合作社。

**4、为项目贷款办公室提供近 2 亿美元的预算**，主要包括三个贷款项目：（1）为 Title 17 创新技术贷款担保项目提供 1.79 亿美元预算，其中 1.5 亿美元用于信贷补贴，另外 0.29 亿美元用于行政开支，以加快创新能源项目部署，启动新的能源市场，推动美国经济增长。（2）为先进汽车制造技术（ATVM）项目和部落能源贷款担保计划（TELGP）分别提供 500 万美元和 200 万美元预算，以继续推进 ATVM 项目和 TELGP 计划的贷款发放和投资组合监控。

**5、为行政管理和监督部门提供 4 亿美元预算**，以支撑战略规划和政策制定、扩大能源部相关就业岗位、强化整个综合能源项目的公正、电动汽车充电桩的管理成本，以及电力系统网络响应和恢复管理等。

（汤匀）



## 《洁净能源科技动态监测快报》

编辑出版：中国科学院武汉文献情报中心

联系地址：武汉市武昌区小洪山西 25 号 (430071)

联系人：陈伟 郭楷模 岳芳 汤匀

联系电话：(027) 87199180

电子邮件：[energy@whlib.ac.cn](mailto:energy@whlib.ac.cn)